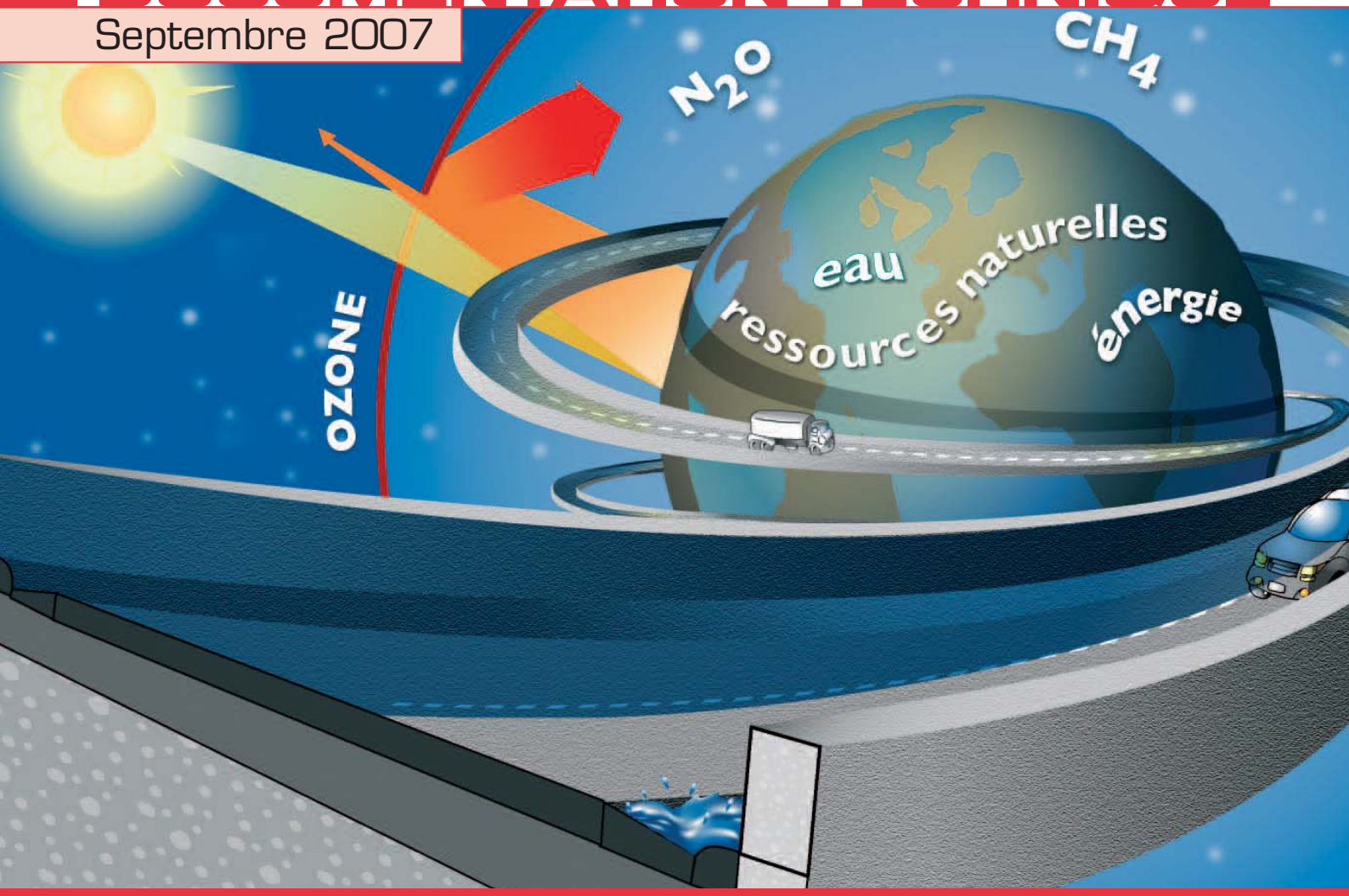


Béton et développement durable : analyse du cycle de vie de structures routières

L'application des principes du développement durable a tendance à se généraliser dans les différents secteurs économiques et, en particulier, dans la construction routière. En effet :

- **des acteurs industriels importants mettent en œuvre des systèmes de management environnemental, conformément à la série de normes ISO 14 000 ;**
- **les décideurs expriment une demande croissante en matière de qualité environnementale des produits ;**
- **un processus d'information sur la qualité environnementale des produits de construction est proposé par l'AFNOR dans la norme NF P01-010 "Qualité environnementale des produits de construction – Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction".**

La **route** est un moyen de communication nécessaire au développement. Sa construction nécessite beaucoup de matériaux :

- des matériaux non liés comme la grave non traitée GNT,
- des matériaux traités avec un liant qui peut être, soit du bitume pour faire des graves-bitume, soit du ciment pour faire des graves-ciment ou du béton.

Aussi, **construire** une route suppose de mobiliser sur des kilomètres, et sur une épaisseur pouvant atteindre un mètre, un volume considérable de granulats. Ainsi, en France, pour entretenir et étendre le réseau routier, **200 millions de tonnes de granulats** sont puisées annuellement dans les ressources naturelles, soit un volume de 100 millions de mètres cubes par an. Ceci se traduit par des impacts importants sur le milieu

naturel : perturbation ou disparition des écosystèmes des rivières dans lesquelles sont dragués les matériaux (ballastières), extension des carrières à ciel ouvert, etc. Qui plus est, beaucoup de maîtres d'œuvre et d'entreprises sont confrontés à des **pénuries de granulats** consécutives à la surexploitation des ressources.

En outre, **extraire et fabriquer** les constituants élémentaires (granulats et liants), **transporter** ces constituants élémentaires jusqu'au lieu de fabrication, **fabriquer** les matériaux élaborés ou les mélanges et les **transporter** de la centrale de fabrication au chantier, et enfin mettre en œuvre ces matériaux pour la construction de la route, sont des opérations qui engendrent des impacts non négligeables sur l'environnement. Il en est de même pour les **opérations d'entretien et de réhabilitation** des chaussées en fin de vie.

Enfin, dans sa **phase d'utilisation**, la route qui traverse des paysages exerce une pression énorme sur la faune et la flore, de par la barrière parfois infranchissable qu'elle constitue, mais aussi par des rejets de métaux lourds, des débris en tout genre (pneus, plastique, etc.) et autres polluants engendrés par le trafic des automobiles et des poids lourds, sans parler de l'énorme quantité d'énergie consommée par les véhicules.

L'Industrie cimentière et ses partenaires, conscients de l'enjeu stratégique et universel du développement durable, veulent contribuer à leur niveau et avec leur compétence à cet effort collectif, bien qu'un nombre élevé de mesures ait été déjà prises au cours des deux dernières décennies.

Cimenterie : des impacts minimisés

Produit industriellement à partir de **ressources naturelles abondantes,** l'argile (20 %) et le calcaire (80 %) cuits dans un four à très haute température (1 450°C), le ciment nécessite beaucoup d'énergie pour sa fabrication. Pour minimiser les émissions de gaz à effet de serre, l'industrie cimentière a été parmi les premières à mettre en œuvre, au niveau national, un **engagement volontaire** de réduction des émissions, et poursuit son action à travers l'AERES (Association d'Entreprises pour la Réduction de l'Effet de Serre) fondée en octobre 2002.

Pour la période 1990-2000, l'industrie cimentière s'est engagée à réduire de 10 % les émissions de CO_2 à la tonne de ciment et de 25 % les émissions totales de CO_2 liées à la consommation de combustibles fossiles. Cet objectif a été largement dépassé : plus de 20 % pour le premier objectif et environ 40 % pour le second.

Pour y parvenir, les gestionnaires de sites recourent de plus en plus massivement à des **combustibles de substitution,** déchets d'autres industries qui auraient été éliminés de toute façon sans être valorisés : pneus, huiles usagées, solvants, matières plastiques, cartons, boues d'épuration, farines animales.... Moyennant des adaptations très coûteuses, comme les **filtres** disposés sur les cheminées retenant **les poussières et les polluants** résiduels qui n'auraient pas été éliminés par la chaleur du four. **L'efficacité énergétique des installations** a également été améliorée (dispositif d'injection des combustibles plus performants, systèmes de régulation améliorant le rendement de la cuisson, préchauffage des matières premières avec les gaz de combustion).

Une autre contribution à un développement durable, et en particulier son volet **social,** est la mise en place au niveau des cimenteries de commissions de **concertation avec les riverains, les élus, les associations,** pour répondre aux interrogations, recueillir les requêtes et trouver des solutions pour y remédier. Ces structures de concertation sont devenues indispensables pour accompagner, le mieux possible et dans la transparence vis-à-vis des populations, les projets d'extension ainsi que de **réhabilitation paysagère d'anciennes carrières.**
Ces dossiers gagnent en pertinence avec l'intervention d'associations spécialistes de la faune et de la flore. L'information du public et la concertation avec les riverains sur les choix industriels illustrent la **politique de transparence de l'industrie cimentière.**

Les sociétés cimentières mettent tout en œuvre pour limiter les nuisances liées à l'extraction des matières premières...

... et aussi lors de la fabrication du ciment et des liants hydrauliques routiers.

Mettre à profit les matériaux en place pour construire ou entretenir des routes

Au lieu d'exploiter des matériaux, au prix de nombreux impacts environnementaux et des nuisances générées par leur transport (pollutions, bruit, risque d'accidents, dégradation du réseau routier, etc.), **l'approche proposée est d'exploiter le gisement constitué par les matériaux présents naturellement sur le site.**

Grâce à la technique du **traitement des sols** aux liants hydrauliques routiers ou au ciment, il est possible de stabiliser **argiles, limons, sables, marnes, chailles...** Cette technique est de plus en plus utilisée pour les **terrassements routiers,** mais aussi pour la réalisation des **assises de chaussées** dont l'étanchéité est assurée par une couche de surface en béton bitumineux.

La technique du traitement des sols à la chaux, au ciment et aux liants hydrauliques routiers est de plus en plus utilisée pour les terrassements, mais aussi pour la réalisation des couches d'assises de chaussées.

L'approche du développement durable peut aussi s'appliquer à **l'entretien de chaussées** existantes. Plutôt que de fraiser et d'évacuer les matériaux en décharge, pour introduire des matériaux neufs, mieux vaut **mettre à profit le gisement propre de la route.** Là aussi, la technique du **retraitement au ciment et aux liants hydrauliques routiers** est parfaitement adaptée. Généralement, le seul matériau apporté est le liant, d'où un impact bien moindre sur l'environnement.

Le retraitement des chaussées en place au ciment ou aux liants hydrauliques routiers épargne les ressources en granulats et supprime les nuisances dues à leur transport.

Des centrales à béton au diapason

Moins étendues que les cimenteries, les centrales de Béton Prêt à l'Emploi n'en sont pas moins soumises aux mêmes contraintes. Ces installations sont de plus en plus souvent installées dans des bâtiments de type industriel, afin de limiter les nuisances sonores pour le voisinage et améliorer l'insertion dans le paysage, objectif qui motive parfois la plantation d'arbres.

Insonorisation, traitement paysager, maîtrise des rejets et recyclage des matériaux sont une réalité pour les centrales de Béton Prêt à l'Emploi.

Sur le plan de la maîtrise des rejets, les centrales de béton s'inscrivent pleinement dans une logique **"zéro déchet"**. Les excédents de béton frais sont récupérés pour en extraire les granulats qui, après lavage, pourront resservir ultérieurement, de même que les eaux chargées en laitance, recueillies et réinjectées dans le circuit de fabrication comme apport de fines.
Sur le plan énergétique, l'atout du béton est son mode de **fabrication à froid**, par simple mélange des constituants de base. Cela se traduit par une consommation électrique limitée et l'absence d'émissions directes de gaz à effet de serre ou de tout autre composé portant potentiellement atteinte à la santé et à l'environnement.

Ce tableau serait incomplet si l'on omettait de souligner l'excellente couverture du territoire français par les centrales à béton. Grâce à la **densité de ce maillage,** l'impact du transport est limité. Le ciment est acheminé en priorité par **voie fluviale ou ferroviaire,** et le béton prêt à l'emploi est disponible en tout point à moins d'une heure de route. Cette présence au plus près des besoins se double d'un recours privilégié à une **main d'œuvre locale** et constitue l'une des composantes de la **contribution sociale** de l'industrie du béton

Le béton peut aussi être formulé à partir du sable présent localement, comme sur cette route expérimentale en béton de sable, à la dune du Pyla (Landes).

Le béton pour répondre aux exigences de la loi sur l'eau

Grâce aux **ouvrages hydrauliques en béton,** les concepteurs peuvent protéger l'environnement en canalisant les eaux de ruissellement polluées (caniveaux, cunettes, tuyau...), puis en les filtrant (bassins de décantation) avant de les rejeter dans la nature, en accord avec les exigences de la loi sur l'eau.

Les ouvrages hydrauliques en béton permettent de respecter la loi sur l'eau et son obligation de recueillir, puis de filtrer les eaux de ruissellement avant de les rejeter dans l'environnement.

Ce rapide tour d'horizon des enjeux du développement durable, des contributions de l'industrie cimentière et de ses partenaires à sa mise en œuvre ne saurait être exhaustif. Mais, beaucoup de choses restent encore à accomplir et le travail est loin d'être achevé.

Dans ce contexte, **CIMBÉTON et le SNBPE (Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi)** dans le but de mettre, à la disposition des décideurs, des éléments d'aide au choix des structures routières respectueuses des principes du développement durable, ont confié au **Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris** une étude d'analyse du cycle de vie d'un kilomètre de route.

Ces analyses, menées conformément à la **méthode EQUER,** ont évalué les impacts environnementaux de plusieurs **structures routières** en **béton** et en **bitume** les plus couramment utilisés sur le réseau routier français.

Pourquoi cette étude ?

Cette étude a été motivée par un certain nombre d'éléments :

- Les données environnementales constitueront, dans un proche avenir, un outil d'aide au choix des structures routières, à l'instar des critères techniques et économiques. Les résultats de l'analyse de cycle de vie d'un kilomètre de route constitueront une base de données au service des décideurs,

- La route impacte l'environnement dans sa phase de construction mais aussi dans sa phase d'utilisation. Connaître les contributions relatives des phases de construction, d'entretien, de fin de vie et d'utilisation permet de mieux cibler les actions destinées à diminuer les impacts environnementaux,

- Les études américaines, canadiennes, indiennes et suédoises, établies à partir d'essais en vraie grandeur, concluent toutes que la consommation en carburant des véhicules est moindre sur une chaussée béton que sur une chaussée bitumineuse, l'écart variant entre 8 et 15 % selon les cas. Sachant que la consommation d'énergie engendrée par l'utilisation de la route est considérablement supérieure à celles des phases de construction et d'entretien, une réduction de la consommation des véhicules peut se traduire par une réduction importante des impacts sur l'environnement, en particulier une réduction de la consommation d'énergie et une diminution de l'émission des gaz à effet de serre.

Pourquoi le Centre d'Energétique de l'Ecole des Mines de Paris ?

Par souci d'objectivité, l'analyse du cycle de vie d'un kilomètre de route a été confiée au Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris. Ce choix offre un bon nombre d'avantages :

- c'est un centre spécialisé disposant d'une méthodologie de calcul EQUER éprouvée ;

- il utilise une base de données suisse (OEKOINVENTARE, École Polytechnique Fédérale de Zurich) et Allemande

(Université de Karlsruhe, OEKOINSTITUT de WEIMAR) qui assurent une cohérence globale quant à la manière de définir et de quantifier les données des inventaires. En outre cette base de données va au-delà de la norme NF P01-010 quant à la manière d'agréger les flux élémentaires ;

- la méthodologie EQUER permet d'évaluer d'une façon assez complète les impacts d'un ouvrage sous forme de douze indicateurs environnementaux.

Le contenu de l'étude

Après un rappel des transformations opérées par l'industrie cimentière et ses partenaires sur les outils industriels et la mise au point de produits respectueux des principes du développement durable, **l'étude décrit et compare douze impacts environnementaux de six structures routières équivalentes** (quatre structures en béton, une structure composite BBTM/BAC/GB3 et une structure totalement bitumineuse BB/GB3/GB3) et de deux types de dispositifs de sécurité (séparateur en béton et glissière en métal).

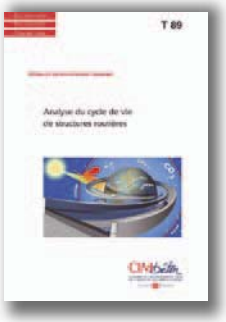
Ces indicateurs sont évalués pour les différentes phases du cycle de vie d'une route (construction, entretien, fin de vie et utilisation).

Les structures de chaussées réalisées par traitement des sols (ou matériaux) en place aux ciments ou aux liants hydrauliques routiers, connues et reconnues comme étant (et de loin) les meilleures structures en matière d'impact sur l'environnement, ne sont pas concernées par cette étude.

L'étude complète (brochure T 89)

Cette documentation technique est une synthèse de l'étude complète de 50 pages publiée par Cimbéton sous la référence T 89.

Ce document est disponible gratuitement auprès de Cimbéton, soit par fax au 01 55 23 01 10, soit par email : centrinfo@cimbeton.net



LES CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE

Présentation comparative des résultats

Un bilan par analyse de cycle de vie a été effectué sur une portion de route d'un kilomètre de longueur, représentative d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus d'une base de données suisse (Oekoinventare, École polytechnique fédérale de Zürich), et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

Les résultats de ce bilan sont présentés sous forme d'un diagramme constitué de douze axes correspondant aux douze indicateurs environnementaux sélectionnés pour cette étude. Chaque axe porte une unité de mesure spécifique à l'indicateur étudié, permettant ainsi de comparer visuellement les écarts relatifs entre les différentes techniques.

Ainsi, plus le point visualisant l'indicateur étudié est proche de 0, plus l'impact environnemental de la structure est faible. Les principales conclusions sont exposées dans les pages qui suivent.

Conclusion n°1

Les armatures en acier handicapent l'ACV des bétons routiers

- **Comparaison des structures routières en béton sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie**
  La structure 1 "dalle goujonnée" et la structure 4 "dalle épaisse" sont visiblement plus favorables que les structures 2 et 3 en béton armé continu pour les indicateurs Énergie, Eau, Ressources, Déchets radioactifs, Eutrophisation et Toxicité humaine.
  Elles sont légèrement moins favorables pour les indicateurs Déchets, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 1).

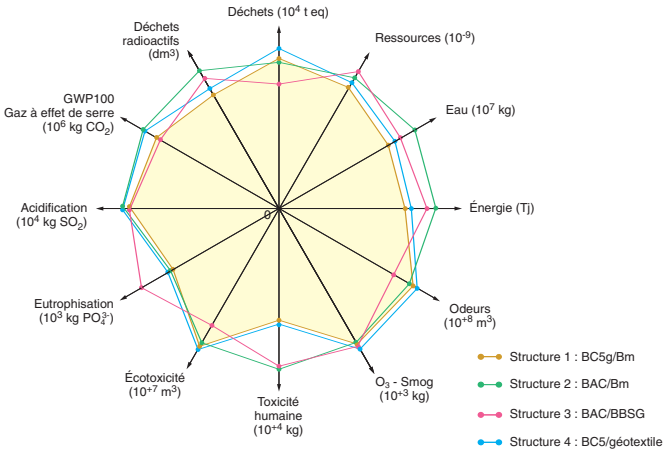


Figure 1 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des quatre structures routières en béton – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

Conclusion n°2

Des structures optimisées par l'association des matériaux : béton-bitume-acier

• Comparaison des structures routières en béton et de la structure composite sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure 5 "structure composite" est plus favorable que les structures en béton 1 à 4 pour les indicateurs Eau, Déchets, Gaz à effet de serre, Écotoxicité et Odeurs.

Elle est moins favorable pour les indicateurs Ressources, Eutrophisation et Smog (voir la figure 2).

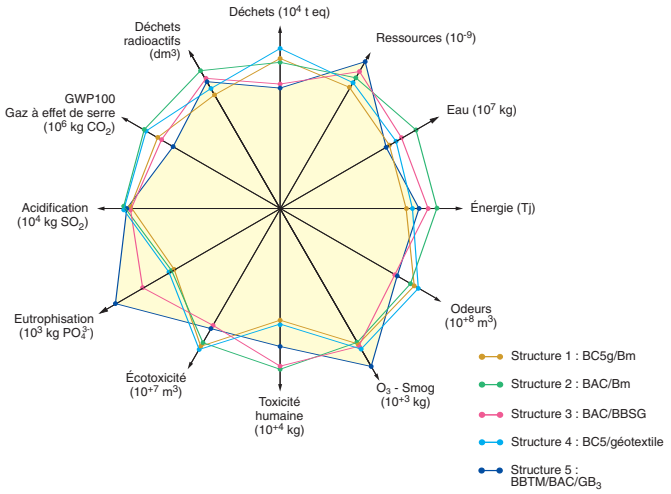


Figure 2 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des quatre structures routières en béton et de la structure composite – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

Conclusions n°3 et 4

Oekoinventare ou eurobitume : les structures en béton sont globalement plus favorables

• Comparaison des structures béton et de la structure bitumineuse (source Oekoinventare) sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure bitumineuse (Oekoinventare) est plus favorable, que les structures béton 1 à 4, pour les indicateurs Déchets solides, Gaz à effet de serre, Eutrophisation et Toxicité humaine.

En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Énergie, Eau, Ressources, Déchets radioactifs, Acidification, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 3).

• Comparaison des structures béton et de la structure bitumineuse (source Eurobitume) sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure bitumineuse (Eurobitume) est plus favorable, que les structures béton 1 à 4 et la structure composite, pour les indicateurs Déchets, Gaz à effet de serre et Toxicité humaine. En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Eau, Ressources, Acidification, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 3).

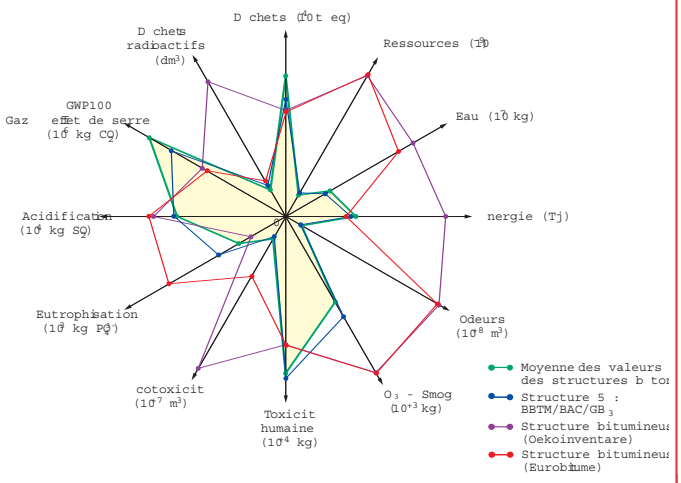


Figure 3 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des structures en béton et de la structure bitumineuse – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

Conclusion n°5

Les revêtements en béton, source d'économie durant la phase d'utilisation

• Comparaison des structures sur le cycle de vie complet

Les impacts liés à la circulation des véhicules sont très importants par rapport aux impacts liés à la construction, l'entretien et fin de vie de la chaussée (voir la figure 4). De ce fait, toute économie durant la phase d'utilisation prend toute sa signification. La prise en compte de l'influence du revêtement routier sur la consommation des véhicules se trouve donc pleinement justifiée dans cette analyse.

Si une consommation égale est considérée pour les véhicules quel que soit le revêtement, les solutions bitumineuses sont un peu plus favorables par rapport aux déchets solides inertes (la quantité de matériau utilisée est moindre et le recyclage est possible en fin de vie) et les variantes béton sont mieux placées sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs.

Si une réduction de 10 % de la consommation des véhicules est considérée pour les revêtements béton, sur les 10 premières années, et de 5 %, les années suivantes, les impacts sont réduits pour les variantes béton.

La réduction est encore plus élevée si la réduction de 10 % est appliquée sur les 30 ans de durée de vie de l'ouvrage. Dans ce dernier cas tous les indicateurs environnementaux, à l'exception de l'indicateur Déchets, deviennent favorables aux structures béton (voir la figure 4).

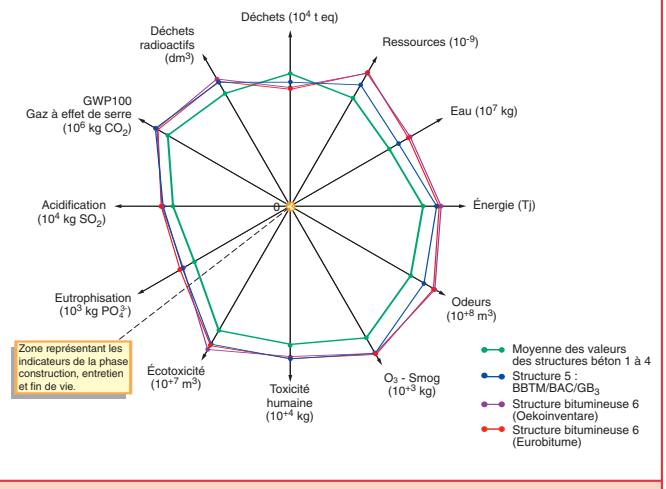

Déchets (10^4 t eq)
Déchets radioactifs (dm^3)
Ressources (10^{-9})
GWP100 Gaz à effet de serre (10^6 kg CO_2)
Eau (10^7 kg)
Acidification (10^4 kg SO_2)
Énergie (Tj)
Eutrophisation (10^3 kg PO_4^{3-})
Odeurs (10^{+8} m^3)
Zone représentant les indicateurs de la phase construction, entretien et fin de vie.
Écotoxicité (10^{+7} m^3)
Toxicité humaine (10^{+4} kg)
O_3 - Smog (10^{+3} kg)
Moyenne des valeurs des structures béton 1 à 4
Structure 5 : BBTM/BAC/GB_3
Structure bitumineuse 6 (Oekoinventare)
Structure bitumineuse 6 (Eurobitume)

Figure 4 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux de différentes structures routières – cycle de vie complet.

Conclusion n°6

Les séparateurs en béton : tous les avantages en matière d'ACV

Dans le domaine des dispositifs de sécurité, le séparateur béton présente, pour tous les indicateurs environnementaux, un avantage sur la glissière métal, sauf pour l'indicateur Déchets (voir la figure 5).

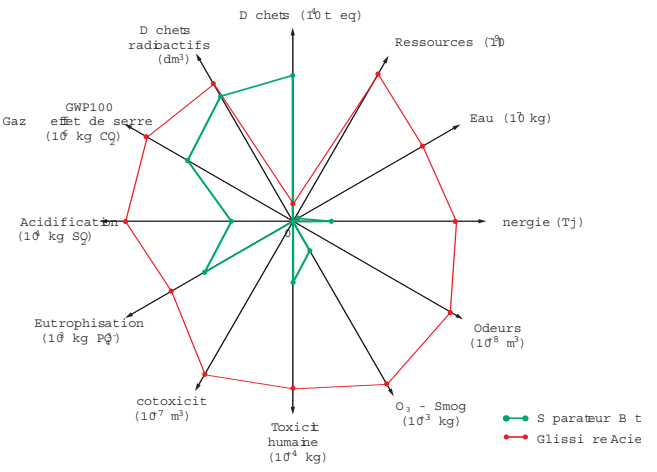


Figure 5 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux de deux dispositifs de sécurité – phase de construction, d'entretien et fin de vie.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Un bilan par analyse de cycle de vie a été effectué sur une portion de route d'un km de longueur, représentative d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus d'une base de données suisse (Oekoinventare, École polytechnique fédérale de Zürich), et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

- Pour tous les indicateurs, excepté l'indicateur Déchets, la contribution de la phase de construction est faible par rapport à l'utilisation de la route (circulation des camions et des voitures). Tous les efforts à consentir pour réduire les impacts doivent être portés sur la phase d'utilisation de la route, la phase de construction n'ayant qu'un impact minime, de l'ordre de 1 à 7 %.

- Sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie, la structure bitumineuse génère légèrement moins de déchets solides et d'émission de gaz à effet de serre que les structures béton. En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs. En outre, si l'on restreint la comparaison aux quatre structures béton, la structure 1 "dalle goujonnée" présente le meilleur bilan en matière d'analyse de cycle de vie.

- Sur le cycle de vie complet, incluant la phase d'utilisation, les impacts liés à la circulation des véhicules sont très importants et les hypothèses en matière de consommation de carburant pour les véhicules peuvent influencer les résultats.
  - Si une consommation égale est considérée pour les véhicules quel que soit le revêtement, les solutions bitumineuses sont un peu plus favorables par rapport aux Déchets solides inertes (la quantité de matériau utilisée est moindre et le recyclage est possible en fin de vie), les Gaz à effet de serre et les variantes béton sont mieux placés sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs.
  - Si une réduction de 10 % de la consommation des véhicules est considérée pour les revêtements béton, sur les 10 premières années, et de 5 %, les années suivantes, les impacts sont réduits pour les variantes béton. La réduction est encore plus élevée si la réduction de 10 % est appliquée sur les 30 ans de durée de vie de l'ouvrage.

La prise en compte d'une réduction de la consommation des véhicules quand ils roulent sur un revêtement en béton se traduit par une réduction très importante des impacts

environnementaux compensant ainsi largement les impacts engendrés lors de la phase de construction, entretien et fin de vie. Pour l'ensemble des indicateurs présentés dans ce document, une hypothèse de réduction de la consommation des véhicules circulant sur une chaussée en béton d'environ 3% aurait suffit à compenser les impacts générés durant la phase construction, entretien et fin de vie.
Compte tenu de cet avantage, il serait judicieux qu'une campagne d'essais soit réalisée en France pour confirmer les conclusions des études internationales.

- Dans le domaine des dispositifs de sécurité, le séparateur béton présente un avantage sur la glissière métal, pour tous les indicateurs environnementaux .

BIBLIOGRAPHIE

1. Projet européen EASE (Education of architects on solar energy and environment), rapport final du projet ALTENER n°4.1030/Z/98-340, Commission européenne, DG TREN, août 2000.
2. Club Bâtiville, Construire : quelques enjeux de demain, Cahiers du CSTB n° 3179, décembre 1999.
3. AFNOR, norme X30-300 "Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principe et cadre", mars 1994, 19 p.
4. Bernd Polster, Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie, thèse de doctorat, École des Mines de Paris, 1995, 268 p.
5. Bruno Peuportier et Isabelle Blanc-Sommereux, Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings, International Journal of Solar Energy, 1990 vol. 8 pp 109-120.
6. Bo-Christer Björk et Jeff Wix, An introduction to STEP, VTT (Technical research centre of Finland) and Wix McLelland Ltd, 1991, 47 p.
7. Patrice Poyet et Jean-Luc Monceyron, Les classes d'objets IFCs, finalités et mode d'emploi, Les Cahiers du CSTB, n° 2986, octobre 1997, Paris, 19 p.
8. Bruno Peuportier, Bernd Polster and Isabelle Blanc Sommereux, Development of an object oriented model for the assessment of the environmental quality of buildings, First International Conference Buildings and the environment, CIB, Watford, may 1994, 8 p.
9. R. Frischknecht et al., Ökoinventare für Energie systeme, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 1995, 1817 p.
10. EPFL-LESO/IFIB (Université de Karlsruhe), Energie und Soffffluß-bilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer, Ifib – Karslruhe, juin 1994, 221 p.
11. R. Heijungs, Environmental life cycle assessment of products, Centre of environmental science (CML), Leiden, 1992, 96 p.
12. S. Ahbe, A. Braunschweig et R. Müller-Wenk, Methodik für Oekobilanzen auf der Basis Ökologischer Optimierung, BUWAL, Bern, 1990.
13. Mark Goedkoop, Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale, NOVEM, Utrecht, 1995.
14. Scientific assessment working group of IPCC, Radiative forcing of climate change, World meteorological organization and United nations environment programme, 1994, 28 p.
15. RIALHE A. et NIBEL S., Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments, Ed. Plan Urbanisme Construction et Architecture, 1999.
16. Bruno Peuportier, Niklaus Kohler and Chiel Boonstra, European project REGENER, life cycle analysis of buildings, 2nd International Conference "Buildings and the environment", Paris, june 1997, pp 33-40.
17. Amory et Hunter Lovins, Ernst Von Weizacker, Facteur 4, Ed. Terre Vivante, 1997.
18. Étude américaine : Vehicle operating costs, fuel consumption, and pavement type and condition factors, Final Report, Texas Research and Development Foundation, Austin, TX Jun 82.
19. Étude canadienne : Effect of pavement structure on truck fuel consumption – phase 1 and 2, Conseil national de recherches Canada, Rapport technique controlé CSTT-HWv-CTR-041, août 2000. Project team : Gordon Taylor, P. Eng., M. Eng. - Philip Marsh, P. Eng. - Eric Oxelgren.
20. Étude indienne : Fuel savings on cement concrete pavement, by DR. L.R. Kadiyali & Associates in collaboration with Central Road Research Institute, 2000.
21. Étude suédoise : Benefit of reduced fuel consumption from economic and environmental perspectives. A novel approach, Robert Larsson et Ronny Andersson. Exposé au Symposium Cembureau à Istanbul, avril 2004.
22. T89 - Béton et Développement Durable - Analyse du Cycle de Vie de structures routières. Collection Technique CIMBETON, février 2005.

CIMbéton
CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS
7, Place de la Défense 92974 Paris-la-Défense cedex - Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10
Email : centrinfo@cimbeton.net - Site Internet : www.infociments.fr